

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-161971

(43)Date of publication of application : 06.06.2003

(51)Int.Cl.

G02F 1/313

G02B 6/12

G02F 1/035

G02F 1/365

(21)Application number : 2002-253198

(71)Applicant : AGILENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 30.08.2002

(72)Inventor : FLORY CURT A
SIGALAS MIHAIL M

(30)Priority

Priority number : 2001 946847

Priority date : 04.09.2001

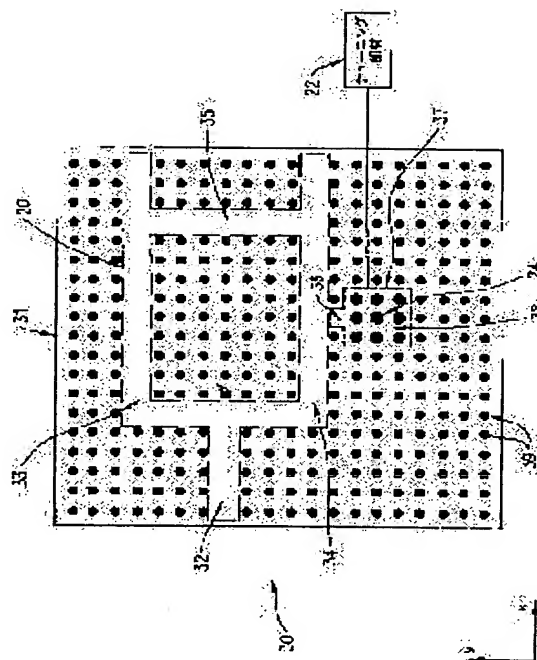
Priority country : US

(54) PHOTONIC CRYSTAL INTERFEROMETRIC SWITCH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a photonic crystal interferometric device the waveguide of which controls the interference of light.

SOLUTION: A photonic crystal interferometric switch 30 is composed of a photonic crystal in which a waveguide 20 is formed. The waveguide 20 has at least one input portion 32, at least two output portions 33 and 34, and an interference channel 35 connecting the at least two output portions 33 and 34. The waveguide 20 is capable of transmitting light within a band gap of the photonic crystal. A resonant member 37 connected to at least one of the at least two output portions exists by controlling a property of light in the at least one output portion to control the interference of light in the waveguide. A 1 × 2 optical switch is constructed by tuning the parameters of the resonant member, either optically or electronically, resulting in a switching of a light signal from one output portion to another output portion.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.08.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-161971

(P2003-161971A)

(43) 公開日 平成15年6月6日(2003.6.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード*(参考)
G 0 2 F 1/313		G 0 2 F 1/313	2 H 0 4 7
G 0 2 B 6/12		1/035	2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/035		1/365	2 K 0 0 2
1/365		G 0 2 B 6/12	Z
			N
審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 9 頁)			

(21) 出願番号 特願2002-253198(P2002-253198)

(22) 出願日 平成14年8月30日(2002.8.30)

(31) 優先権主張番号 09/946847

(32) 優先日 平成13年9月4日(2001.9.4)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク

AGILENT TECHNOLOGIE
S, INC.

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
ト ページ・ミル・ロード 395

395 Page Mill Road P
alo Alto, California
U. S. A.

(74) 代理人 100063897

弁理士 古谷 肇 (外3名)

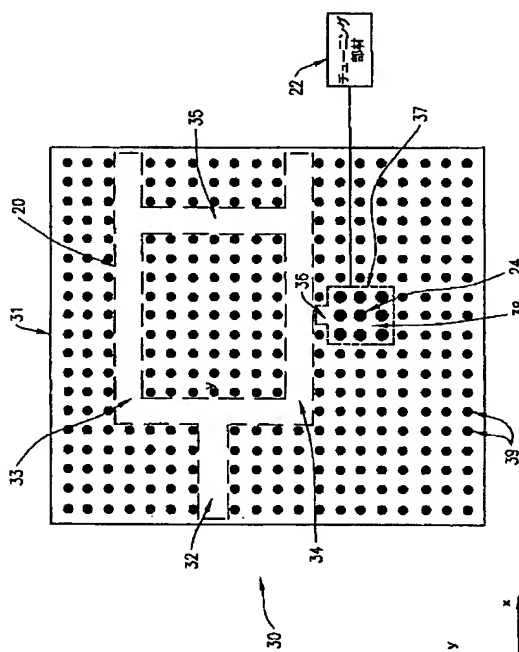
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶干渉計型スイッチ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】装置の導波路で光の干渉を制御するフォトニック結晶干渉計装置の提供。

【解決手段】フォトニック結晶干渉計スイッチ30は、内部に導波路20を有するフォトニック結晶からなる。導波路20は、少なくとも1つの入力部分32、少なくとも2つの出力部分33, 34、及び少なくとも2つの出力部分33, 34を接続する干渉チャネル35を有する。導波路20は、フォトニック結晶のバンドギャップ内の光を伝送することができる。少なくとも1つの出力部分で光の特性を制御することにより、導波路における光の干渉を制御するために、少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方に接続された共振部材37が存在する。1×2光スイッチは、共振部材のパラメータを光学的に又は電子的に調整することにより構成され、一方の出力部分から別の出力部分への光信号のスイッチングを生じる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】フォトニック結晶干渉計装置であって、フォトニック結晶と、少なくとも 1 つの入力部分、少なくとも 2 つの出力部分、及び前記少なくとも 2 つの出力部分を接続する干渉チャネルからなり、前記フォトニック結晶のバンドギャップ内の光を透過することが可能な、前記フォトニック結晶内の導波路と、及び前記少なくとも 2 つの出力部分の少なくとも一方に接続されて、前記導波路内における光の特性を制御することにより、前記導波路内における光の干渉を制御する共振部材とからなる、フォトニック結晶干渉計装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般に、フォトニック結晶の分野に関し、とりわけ、フォトニック結晶干渉計、及びフォトニック結晶干渉計型スイッチ（photonic crystal interferometric switch）の制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】フォトニック結晶（PC）は、特定の周波数範囲における光の伝搬を禁止することが可能な周期的誘電体構造である。とりわけ、フォトニック結晶は、屈折率が空間的に周期変動するように製作されており、屈折率のコントラストが十分に高い場合、構造の光スペクトルにおいて、フォトニックバンドギャップをあけることが可能である。これらのバンドギャップには、フォトニック結晶を通る光の伝搬が禁止される周波数範囲が含まれる（本明細書において用いられる用語「光」は、電磁スペクトル全体にわたる放射線を含むことを意図しており、可視光に制限されない）。

【0003】既知のように、フォトニック結晶の周期構造に欠陥を導入すると、欠陥部位で捕捉され、周囲のフォトニック結晶材料のバンドギャップ内の共振周波数を有する、局所化電磁状態を生じさせることができる。フォトニック結晶内に延びるこうした欠陥領域を設けることによって、光の制御及び誘導に利用可能な導波構造が形成される。

【0004】3次元で空間周期性を有するフォトニック結晶は、結晶のバンドギャップ内におけるあらゆる方向への光の伝搬を禁止することが可能であるが、こうした構造の製作は、技術的に困難である。より注目される代替案は、2次元周期格子が組み込まれた2次元フォトニック結晶スラブを利用することである。この種の構造では、スラブ内で伝搬する光が、全内反射によって、スラブの主表面に対して垂直な方向に閉じ込められ、主表面に対して垂直以外の方向にスラブ内を伝搬する光は、フォトニック結晶スラブの特性によって制御される。2次元フォトニック結晶スラブには、標準的な半導体処理のブレーナ技術に適合するという利点があり、さらに、ス

ラブのブレーナ構造によって、スラブ内に形成された導波路の光信号が、相互作用の影響をより受けやすくなる。これにより、その構造が能動素子の形成に利用しやすいという、追加の利点を提供される。

【0005】理論的研究及び実験に基づく研究の両方によって、2次元フォトニック結晶スラブ導波路装置における効率の良い光の誘導が実証されている（「Demonstration of Highly Efficient Waveguiding in a Photonic Crystal Slab at the 1.5 μ m Wavelength」, S. Lin, E. Chow, S. Johnson and J. Joannopoulos, Opt. Lett. 25, pp.1297-1299, 2000を参照）。さらに、実験に基づく研究によって、高効率で光を伝搬することができる、こうした装置の製作の可能性が実証されている。結果として、既に、導波路装置の誘導光モードとの相互作用について、潜在的用途の調査がなされている。前述のこうした用途には、静的（固定波長）またはチューナブルチャネルドロップフィルタ、及びチューナブル共振マイクロキャビティ欠陥が含まれる（米国特許第6,058,127号を参照）。

【0006】同一の譲受人に譲渡され、参照により本明細書に組み込まれる、同時係属の米国特許出願第09/846,856号には、横共振スタブチューナを含むフォトニック結晶導波路装置が記載されている。この装置は、横スタブチューナの共振周波数によって決まる指定周波数に伝送ゼロがある（「伝送ゼロ」という用語は、導波路によって伝送可能な光の伝送が阻止される、フォトニック結晶のバンドギャップ内の周波数範囲を表している）。本出願は、横共振スタブチューナの電磁特性を調整して、導波路装置の周波数領域において伝送ゼロをシフトさせるための技法も開示する。これらの技法によれば、導波路装置における光パワーの大きさを修正するために横共振スタブチューナの能力に依存して、1×1光スイッチ及び光変調器のような用途にこの装置を利用することが可能になる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、装置の導波路において光の干渉を制御するフォトニック結晶干渉計装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の実施形態による例示的なフォトニック結晶干渉計装置は、内部に導波路を有するフォトニック結晶からなる。導波路は、少なくとも1つの入力部分、少なくとも2つの出力部分、及び少なくとも2つの出力部分を接続する干渉チャネルを含むことができる。導波路は、フォトニック結晶のバンドギャップ内の光を伝送することができる。導波路内の光の特性を制御することにより、導波路における光の干渉を制御するために、少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方に接続された共振部材が存在する。

【0009】本発明のもう1つの実施形態によれば、共

振部材には、共振器領域と、共振器領域と少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方とを接続する接続チャネルとが含まれる。共振器領域の共振周波数を設定することによって、共振器領域及び接続チャネルは、干渉チャネルと協働して、導波路の少なくとも2つの出力部分の一方における光が、干渉チャネル内の光と強め合う干渉を生じ、少なくとも2つの出力部分の他方における光が、干渉チャネル内の光と弱め合う干渉を生じるようにする。

【0010】本発明の第2の実施形態によれば、導波路は、フォトニック結晶を通して延びるフォトニック結晶の周期的な格子に第1の欠陥領域を含み、接続チャネルは、周期的な格子に少なくとも1つの第2の欠陥を含む。共振器領域は、周期的な格子が共振器領域を画定するように適切な態様で修正された、フォトニック結晶の領域を含む。

【0011】本発明の第3の実施形態によれば、導波路の少なくとも1つの入力部分は、1つの入力部分を含み、少なくとも2つの出力部分は、2つの出力部分を含む。フォトニック結晶の周期的な格子は、誘電体ポスのアレイを含み、導波路は、複数のポストからなるラインの一部の省略によって形成される。すなわち、入力部分は、1つのポストラインの一部の省略によって形成され、2つの出力部分は、それぞれ、互いに垂直で、入力部分に接続された、2つのポストラインの一部の省略によって形成される。干渉チャネルは、2つの出力部分を接続する1つのポストラインの一部の省略によって形成される。接続チャネルは、周期的な格子においてもう1つのポストを省略し、2つの出力部分の一方に接続されて、一方の出力部分の側壁から垂直に延びる短いチャネルを画定することによって形成される。共振器領域は、周期的な格子において直径が他のポストよりも大きいポスのサブアレイを備えた、ほぼ正方形の領域を含む。

【0012】共振器領域内のポスト数及びポストサイズといった共振器領域のパラメータを制御することによって、共振部材の共振周波数、従って、導波路の2つの出力部分の一方における光の位相を有効に制御することができる。2つの出力部分の一方における光の位相を制御することによって、2つの出力部分に光の干渉が生じる。干渉は、2つの出力部分の一方において強め合う干渉と、2つの出力部分の他方において弱め合う干渉とすることができ、これによって、フォトニック結晶干渉計が提供される。

【0013】本発明の第4の実施形態によれば、フォトニック結晶干渉計装置は、フォトニック結晶干渉計型スイッチを含む。すなわち、出力部分における強め合う干渉によって、光はその部分を通して伝搬することが可能になり、出力部分における弱め合う干渉によって、光がその部分を通して伝搬できなくなる。本発明では、共振部材の共振器領域に接続されて、共振器領域の共振周波

数を調整するチューニング部材を設けることによって、この特徴を利用する。チューニング部材は、共振器領域において誘電体ポスの誘電率を制御する誘電率チューニング部材を含むのが好ましく、チューニング部材は、さらに、共振器領域の共振周波数を制御する。チューニング部材の働きによって、2つの出力部分における強め合う干渉と弱め合う干渉を逆にすることが可能であり、この結果、光スイッチが形成される。

【0014】誘電率チューニング部材は、例えば、電荷担体効果または電気光学効果を利用して誘電率を調整するための電子誘電率チューニング部材とすることができる。代案として、チューニング部材は、例えば、光屈折効果を利用して誘電率を調整するための光学誘電率チューニング部材とすることができる。

【0015】本発明のさらなる実施形態によれば、フォトニック結晶干渉計型スイッチは、例えば、 $n \times m$ スイッチとして機能させることができ、この場合、 n は入力部分の数であり、 m は出力部分の数である。さらに、フォトニック結晶干渉計型スイッチは、変調器として機能させることもできる。

【0016】一般に、本発明のフォトニック結晶干渉計型スイッチは、さまざまな用途に利用可能であり、設計者には、光集積回路における複雑な経路指定アーキテクチャの設計の能力が提供される。

【0017】本発明のさらなる利点及び特定の特徴については、本発明の例示的な実施形態に関する以下の詳細な説明に関連して、明らかになるであろう。

【0018】

【発明の実施の形態】図1には、従来技術において知られている2次元フォトニック結晶スラブが例示されており、これは、本発明の解説に役立つように提供されている。フォトニック結晶スラブは、全体が参照番号10によって示されており、内部にポスト14のアレイを有するスラブ本体12からなる。図1に示すように、ポスト14は、互いに平行に配置され、スラブ本体を貫いて、その上面16から底面18まで延びている。

【0019】2次元フォトニック結晶スラブ10は、さまざまな形態をとることができる。例えば、ポスト14は、第1の誘電体材料から形成されたロッドからなることができ、スラブ本体12は、誘電率が第1の誘電体材料の誘電率とは異なる第2の誘電材料から形成された本体からなることができる。代案として、ポストは、誘電体材料のスラブ本体に形成された穴からなることもでき、あるいは、ポストは、誘電体材料のロッドからなることができ、スラブ本体は、空気、別のガス、または真空とすることができる。さらに、ポストは、正方形のポストアレイを画定するように構成されることもでき、あるいは、矩形アレイまたは三角形アレイといった異なる態様に構成され得る。

【0020】図1に示すような2次元フォトニック結晶

スラブの場合、スラブ内を伝搬する光は、全内反射によって、スラブ面 16 及び 18 に対して垂直な方向に閉じ込められる。しかし、スラブ面に対して垂直以外の方向に、スラブ内を伝搬する光は、スラブの空間的な周期的構造によって制御される。特に、空間的な周期的構造によって、スラブを通る光の伝搬が阻止される構造の伝送特性にフォトリックバンドギャップがかけられる。すなわち、スラブ面に対して垂直以外の方向に、図 1 の 2 次元フォトリック結晶スラブ内を伝搬する、スラブのバンドギャップ内の周波数を備えた光は、スラブを介して伝搬しないが、バンドギャップ外の周波数を備えた光は、妨げられることなく、スラブを通して伝えられる。

【0021】同一の譲受人に譲渡され、参照により本明細書に組み込まれる同時係属の米国特許出願第 09/846,748 号には、フォトリック結晶の周期的な格子に欠陥を導入して、欠陥部位で捕捉される、周囲のフォトリック結晶材料のバンドギャップ内の共振周波数を備えた、局所化電磁状態を生じさせる方法が記載されている。これらの欠陥を適切な態様で配置することによって、フォトリック結晶のバンドギャップ内の周波数を有する（従って、通常は、フォトリック結晶を通して伝搬することができない）光がフォトリック結晶を通して伝送される導波路を、フォトリック結晶内に形成することができる。欠陥領域は、直線状に広がることもできるし、あるいは曲がった導波路を画定するために、例えば 90 度の屈曲部といった、1 つ以上の屈曲部を含むように構成することも可能である。2 次元フォトリック結晶導波路装置における光の有効な伝搬は、2 次元有限差分時間領域（Finite-Difference Time-Domain: FDTD）技法（「Computational Electrodynamics, the Finite-Difference Time-Domain Method」, A.Taflov, Artech House, 1995 を参照）を利用して、既に実証されており、直線導波路及び 1 つ以上の 90 度の屈曲部を備えた導波路の両方によって、低損失で、効率のよい光の誘導が可能であることが明らかにされている。

【0022】図 2 には、本発明の一実施形態によるフォトリック結晶干渉計型スイッチが例示されている。スイッチは、全体が参照番号 30 によって示されており、空気中において正方形アレイをなす誘電体ポスト 39 から構成された 2 次元フォトリック結晶スラブ 31 からなる。フォトリック結晶スラブにおける欠陥領域は、周囲のフォトリック結晶材料のバンドギャップ内の周波数を有する光が伝搬できる導波路 20 を形成する。導波路 20 には、入力部分 32、出力部分 33 及び 34、及び出力部分 33 及び 34 を接続する干渉チャネル 35 が含まれる。入力部分 32 は、1 つのポストラインの一部からポストを省略することによって形成され、出力部分 33 及び 34 は、それぞれ、互いに垂直な 2 つのポストラインの一部からポストを除去して、出力部分に 2 つの 90 度屈曲部を生じさせることによって形成される。干渉チ

ャネル 35 は、出力部分 33 及び 34 に対して垂直なポストラインの一部からポストを省略することによって形成される。

【0023】さらに、フォトリック結晶スラブ 30 は、導波路の出力部分 34 の側壁から延びて、導波路の出力部分 34 における光の位相を制御するための共振部材 37 を含む。共振部材 37 は、共振器領域 38 と接続チャネル 36 を含む。

【0024】図 2 に例示した実施形態の場合、接続チャネル 36 は、導波路 20 の出力部分 34 の側壁から出力部分に対して垂直な方向に延びる短いチャネルからなり、ポストアレイから 1 つのポスト 39 を省略することによって形成される。共振器領域 38 は、直径がポスト 39 より大きいポスト 24 からなる 3×3 のサブアレイを備えたほぼ正方形領域から構成される。図 2 に示すように、接続チャネル 36 は、共振器領域 38 と出力部分 34 とを接続する短い導波路セクションを構成する。

【0025】さらに図 2 に示すように、共振器領域 38 におけるポスト 24 の誘電率を制御し、さらには共振部材 37 の共振周波数、ひいては出力部分 34 の光の位相を制御するために、チューニング部材 22 が設けられる。さらに詳細に後述するように、出力部分 34 の光の位相を制御することによって、出力部分のそれぞれにおける干渉を、強め合う干渉から弱め合う干渉に、あるいは弱め合う干渉から強め合う干渉にスイッチし、これによって光スイッチを提供できる。

【0026】誘電率チューニング部材は、当業者にとって良く知られているため、本明細書での詳述は不要であり、誘電率チューニング部材は電子式または光学式とすることができる。例えば、電子誘電率チューニング部材は、電荷担体効果または電子光学効果を利用することができる。光学誘電率チューニング部材は、光屈折効果を利用することができる。これらの効果は全て、光周波数領域では比較的わずかなものであるが、本発明の装置の適切なチューニングを実施するには十分な大きさである。

【0027】図 2 のフォトリック結晶干渉計型スイッチ 30 の動作は、干渉計型スイッチにおける干渉現象の本質を示す簡略化された 1 次元モデルによって最も明確に説明される。図 3 は、全体が参照番号 40 で示された干渉計型スイッチの簡略化 1 次元モデルの図である。フォトリック結晶干渉計型スイッチのこのモデルでは、図 2 の導波路 20 は、1 つの入力部分 41、2 つの出力部分 42 及び 43、及び 2 つの出力部分 42 及び 43 を接続する干渉チャネル 44 を含む理想化された 1 次元導波路 49 に置き換えられている。光信号は、入力部分 41 を通って位置 48 まで伝搬し、等しい振幅の 2 つの光信号に分割されて、出力部分 42 及び 43 に沿って伝搬する。入力部分 41 における光信号の振幅は、下記の概略の形式を有する。すなわち、

$$E \sim \exp(jkx)$$

ここで、 $k = 2\pi/\lambda$ 、 λ は光信号の波長であり、 j は複素数であり、 x は入力部分41に沿った距離である。それぞれ、90度屈曲部を含む出力部分42及び43を進んだ後、2つの光信号は、位置45及び46において干渉し、その振幅は下記の形式を有する。すなわち、

$$E_{45} \sim \exp(jkL_1) + \exp(jk[L_1 + L_2] + j\phi)$$

$$E_{46} \sim \exp(jkL_1 + j\phi) + \exp(jk[L_1 + L_2])$$

ここで、 E_{45} は、位置45における光信号の振幅であり、 E_{46} は、位置46における光信号の振幅であり、 L_1 は、出力部分42及び43の長さであり、 L_2 は、干渉チャネル44の長さであり、 ϕ は、チューニングシステム47からの追加される位相偏移である。これらの式は、下記のように書き直すことができる。すなわち、
 $E_{45} \sim \exp(jkL_1) [1 + \exp(jkL_2 + j\phi)]$

$$E_{46} \sim \exp(jk[L_1 + L_2]) [1 + \exp(-jkL_2 + j\phi)]$$

これから、2つの出力部分42及び43におけるエネルギー密度の大きさを計算することが可能である。すなわち、

$$|E_{45}|^2 \sim \cos^2((kL_2 + \phi)/2)$$

$$|E_{46}|^2 \sim \cos^2((kL_2 - \phi)/2)$$

ここで、 $|E_{45}|^2$ は、位置45におけるエネルギー密度の大きさであり、 $|E_{46}|^2$ は、位置46におけるエネルギー密度の大きさである。

【0028】図4は、上述の位置45及び46における光信号のエネルギー密度対 $kL_2/2$ を近似する、 $\cos^2(kL_2/2)$ のプロットであり、 $kL_2/2$ は、干渉チャネルを通して伝搬する光信号の位相偏移である。干渉チャネル44の長さが、チューニングシステム47（チューニングシステム47は、図2の共振部材37及びチューニング部材22に相当する）からの位相偏移 ϕ が生じないような $kL_2/2 = 3\pi/4$ に選択されると、位置45及び46における光信号の振幅は、図4のポイント50に相当し、最大出力値の半分であるため、パワースプリッタが形成される。位置45及び46における光信号パワーは、チューニングシステム47を利用して、出力部分43の光信号に位相偏移を追加することによって、増/減できる。周波数領域における付加的な位相偏移は、相関して時間遅延を生じ、このため、2つの信号の位相がずれて、干渉を生じることになる。チューニングシステム47を利用して、出力部分43における信号の位相を変化させると、光スイッチが形成される。従来技術において知られているように、導波路を通して伝搬し、共振領域を通過した信号の位相偏移は、共振からほど遠い周波数に関してゼロであり、共振に近い周波数については非ゼロである。位相偏移は、信号周波

数を高くして、チューニングシステム47の共振周波数と整合させなければならない場合には、 $-\pi/2$ になり、信号周波数を低くして、チューニングシステム47の共振周波数と整合させなければならない場合には、 $+\pi/2$ になる。

【0029】図3を参照すると、チューニングシステム47が、図4におけるポイント50をわずかに超える共振周波数を有している場合、出力部分43の光信号は、 $-\pi/2$ の位相偏移を受け、出力部分43における光信号のパワーレベルは、図4の位置50から位置51、すなわち最大出力パワーまでシフトすることになる。同様に、出力部分42を通して伝搬する光信号は、位置45において、無光信号出力すなわち図4の位置52に対応する、弱め合う干渉を受けることになる。従って、チューニングシステム47の共振周波数を変更することによって、光信号を位置46にスイッチすることができる。

【0030】図5は、図2のフォトニック結晶干渉計型スイッチの出力部分33及び34におけるエネルギー密度のプロットである。エネルギー密度は、上述の2次元有限差分時間領域(FDTD)技法を用いて計算された。計算に関して、フォトニック結晶基板31は、それぞれ、半径が $0.18a_0$ に等しい誘電体ポスト39の正方形アレイから構成された（ここで、 a_0 は、アレイのポスト間の間隔である）。出力部分33及び34は、それぞれ、互いに垂直な2つのポストラインの一部から誘電体ポスト39を省略することによって形成された。入力部分32は、1つの誘電体ポストラインの一部から誘電体ポストを省略することによって形成された。共振部材37は、出力部分34に対して垂直な短い（1つのポストの）接続チャネル36と、直径が $0.25a_0$ のポストからなる 3×3 の正方形アレイから構成された共振器領域38を含んでいた。ポスト24の誘電率は、11.4に等しくなるように設定されたが、公称値の数パーセントだけ調整可能である。チューニング部材22を用いて、誘電率の公称値を変化させ、出力部分34の光の周波数にわたって、共振部材37の共振周波数を掃引すると、入力部分32の光が、チューニング部材22によって生じた位相変化によって生じる、所望の出力部分における干渉の変化に起因して、2つの出力部分33と34の間でスイッチされ、従って、光スイッチが形成される。

【0031】本発明の装置の動作特性は、さまざまなやり方で修正できるため、上述のシミュレートされた性能は、単なる例示を意図したものにすぎない。例えば、共振部材の寸法を縮小することによって、より狭い範囲の誘電率変動に対して、スイッチングを生じさせることが可能である。

【0032】さらに認識されるべきことは、上述のシミュレーションが、構成要素をなす誘電体ポストに対して平行な次元の効果を無視して、2次元で実施されたとい

う点である。当該技術において知られているように、この種の構造を3次元に一般化すると、計算結果に多少の量的相違を生じることになるが、質的に有効な物理特性は維持される。

【0033】前述の2次元構造に組み込まれたフォトニック結晶格子構造は、いくつかの3次元での実現が可能である。図6a及び図6bには、2つの典型的な3次元の幾何学的形状が示されており、誘電体ポストが有限長であることが明らかにされている。図6aに例示された構造70では、ポストユニット71には、上方及び下方のクラッド層のポスト部分74と76との間に挟まれたフォトニック結晶ポスト部分72が含まれており、各ポストユニットは、基板78上に支持されている。図6bに示す構造80の場合、ポストユニット73には、上方クラッドポスト部分74がない。

【0034】前述のように、ポストに対して平行な次元における光の閉じ込めは、この次元において光の全内反射を生じることになる、より誘電率の高いフォトニック結晶領域によって実施される。さらに留意すべきは、誘電体または金属の、2つの反射表面の間にフォトニック結晶のポストを「挟んで」、ポストに対して平行な次元で必要な閉じ込めを行うもう1つの実現例が可能であるという点である。

【0035】また、言うまでもなく、上述のフォトニック結晶干渉計型スイッチは、一般に、空気中における誘電体ロッドのアレイからなるが、フォトニック結晶は、誘電体基板においてガスまたは真空の「充填された」穴のアレイから構成されることもでき、あるいは誘電率がロッド材料と異なる誘電体材料からなる本体に埋め込まれた誘電体ロッドのアレイから構成されることもできる。さらに、上述の実施形態は、概して、2次元装置を説明しているが、本発明は、同種の動作特性を備えた、完全な3次元フォトニック結晶装置にも適用可能である。

【0036】本発明のフォトニック結晶干渉計型スイッチは、1×2スイッチとして実施可能であり、この場合、共振部材は、チューナブル遅延機構としての働きをし、干渉計における2つの対抗伝搬信号によって、スイッチの出力部分において、選択的に強め合う干渉または弱め合う干渉を生じさせる。スイッチは、1つの出力部分を分離することによって、変調器として用いることも可能であり、一般には、信号ルータが役に立つ可能性のある任意の用途に利用することができる。

【0037】説明されてきたことは、本発明の現在のところ好適な実施形態を構成するが、本発明が他の多くの形態をとることが可能であることは認められるべきである。例えば、本明細書に記載された実施形態には、1つの入力部分と2つの出力部分を備えた、単一導波路が含まれるが、他の実施形態では、導波路は、2つ以上の入力部分と4つ以上の出力部分を含むことができる。さら

に、フォトニック結晶集積回路を利用して、複雑な経路指定アーキテクチャを構成する光集積回路へ、いくつかの導波路を組み込むことも可能である。また、上述の実施形態の欠陥領域は、選択されたポストを省略することによって形成されたが、他の実施形態では、選択されたポストを修正することによって欠陥領域を形成することが可能である。

【0038】本発明は、さまざまな形態をとることが可能であるので、本発明は、特許請求の範囲によって必要とされる限りにおいてのみ制限されるべきであることは理解されたい。

【0039】以下においては、本発明の種々の構成要件の組み合わせからなる例示的な実施形態を示す。

1. フォトニック結晶干渉計装置であって、フォトニック結晶と、少なくとも1つの入力部分、少なくとも2つの出力部分、及び前記少なくとも2つの出力部分を接続する干渉チャネルからなり、前記フォトニック結晶のバンドギャップ内の光を透過することが可能な、前記フォトニック結晶内の導波路と、及び前記少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方に接続されて、前記導波路内における光の特性を制御することにより、前記導波路内における光の干渉を制御する共振部材とからなる、フォトニック結晶干渉計装置。

2. 前記共振部材が、共振器領域、及び前記共振器領域と前記少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方とを接続する接続チャネルを含む、上記1に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

3. 前記接続チャネルが、前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方の側壁から垂直に延びている、上記2に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

4. 前記フォトニック結晶が、周期的な格子からなり、前記導波路が、前記周期的な格子に第1の欠陥領域を含み、前記接続チャネルが、前記周期的な格子に少なくとも1つの第2の欠陥を含み、前記共振器領域が、前記周期的な格子の修正部分を含む、上記2に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

5. 前記周期的な格子が、ポストアレイを含み、前記第1の欠陥領域が、前記ポストアレイの複数ラインの一部においてポストを省略することによって生じ、前記少なくとも1つの第2の欠陥が、前記ポストアレイにおいて1つのポストを省略することによって生じ、前記共振器領域が、前記ポストアレイのサブアレイを含み、そのサブアレイが、前記ポストアレイにおける他のポストとは異なる直径のポストからなる、上記4に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

6. 前記光の特性が、光の位相を含み、前記共振器領域の設計パラメータによって、前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方における光の位相が制御され、前記共振器領域の前記設計パラメータが、前記共振器領域におけるポストの数と、前記共振器領域における

前記ポストの直径の少なくとも一方を含む、上記5に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

7. チューニング部材を更に含み、そのチューニング部材が、前記共振器領域に接続されて、前記共振部材の共振周波数を制御することにより、前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方における光の特性を制御する、上記2に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

8. 前記共振器領域が、誘電体ポストアレイを含み、前記チューニング部材が、前記共振器領域における前記誘電体ポストを構成する材料の誘電率を調整するための誘電率チューナを含む、上記7に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

9. 前記誘電率チューナが、電子誘電率チューナ及び光学誘電率チューナからなるグループから選択された誘電率チューナからなる、上記8に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

10. 前記フォトニック結晶干渉計装置が干渉計型スイッチを構成する、上記7に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

11. 前記干渉計型スイッチが、 1×2 光スイッチと光変調器からなるグループから選択されたスイッチからなる、上記10に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

12. 前記フォトニック結晶が2次元フォトニック結晶スラブからなる、上記1に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

13. フォトニック結晶干渉計型スイッチであって、フォトニック結晶と、少なくとも1つの入力部分、少なくとも2つの出力部分、及び前記少なくとも2つの出力部分を接続する干渉チャネルからなり、前記フォトニック結晶のバンドギャップ内の周波数を有する光を伝送することが可能な、前記フォトニック結晶内の導波路と、及び前記導波路の前記少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方の側壁から延び、前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方において光の位相を制御することにより、前記導波路における光の経路指定を制御するチューニングシステムとからなる、フォトニック結晶干渉計型スイッチ。

14. 前記チューニングシステムが、共振器領域、及び前記共振器領域と前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方とを接続する接続チャネルを含む共振部材と、チューニング部材とを含み、前記チューニング部材が、前記共振器領域に接続されて、前記共振部材の共振周波数を制御する、上記13に記載のフォトニック結晶干渉計型スイッチ。

15. 前記共振器領域が、誘電体部材のアレイを含み、前記チューニング部材が、前記誘電体部材の誘電率を制御するための誘電率チューナを含む、上記14に記載のフォトニック結晶干渉計型スイッチ。

16. 前記フォトニック結晶干渉計型スイッチが、光変調器と、 1×2 の光干渉計型スイッチとを含むグループ

から選択されたスイッチを含む、上記14に記載のフォトニック結晶干渉計型スイッチ。

17. フォトニック結晶と、入力部分、2つの出力部分、及び前記2つの出力部分を接続する干渉チャネルを含む前記フォトニック結晶内の導波路と、前記2つの出力部分の一方に接続されて、前記2つの出力部分の前記一方において光の位相を制御することにより、前記2つの出力部分の前記一方に強め合う干渉を生じさせて、光が前記2つの出力部分の前記一方を通して伝搬するようにし、前記2つの出力部分の他方に弱め合う干渉を生じさせて、光が前記2つの出力部分の前記他方を通して伝搬するのが禁止されるようにする共振部材とを含む光スイッチにおいて、前記スイッチを操作するための方法であって、前記共振部材の共振周波数を変更して、前記2つの出力部分の一方において光の位相を変化させ、前記2つの出力部分の一方から前記2つの出力部分の他方に光の伝搬をスイッチすることからなる、方法。

18. 前記共振部材が、誘電体部材アレイを備えた共振器領域と、前記共振器領域と前記2つの出力部分の前記一方とを接続する接続チャネルとを含み、前記共振部材の共振周波数を変更することが、前記共振部材における前記誘電体部材の誘電率を変更することを含む、上記17に記載の方法。

19. 前記誘電体部材の誘電率を変更することが、前記誘電体部材の前記誘電率を光学的に変更することを含む、上記18に記載の方法。

20. 前記誘電体部材の誘電率を変更することが、前記誘電体部材の前記誘電率を電子的に変更することを含む、上記18に記載の方法。

【0040】

【発明の効果】本発明により、装置の導波路において光の干渉を制御するフォトニック結晶干渉計装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術において知られている2次元フォトニック結晶スラブの略透視図である。

【図2】本発明の実施形態による2次元フォトニック結晶干渉計型スイッチの略断面図である。

【図3】図2のフォトニック結晶干渉計型スイッチの1次元モデルの概略図である。

【図4】図3の1次元フォトニック結晶干渉計型スイッチの導波路の出力部分におけるエネルギー密度の大きさを例示したグラフである。

【図5】図2の2次元フォトニック結晶干渉計型スイッチの共振器領域におけるポストの誘電率の変化の結果を例示したグラフであり、共振器領域における相対誘電率の関数として、導波路の2つの出力部分におけるエネルギー密度を示したグラフである。

【図6a】本発明の3次元実施例において利用可能なフォトニック結晶による「誘電体スラブのポスト」に関する

13

る明白な3次元実現例の典型的な2つの幾何学的形状について概略を例示した図である。

【図6b】本発明の3次元実施例において利用可能なフォトニック結晶による「誘電体スラブのポスト」に関する明白な3次元実現例の典型的な2つの幾何学的形状について概略を例示した図である。

【符号の説明】

20 導波路

22 チューニング部材

30 スイッチ

* 31 2次元フォトニック結晶スラブ

32 入力部分

33、34 出力部分

35 干渉チャネル

36 接続チャネル

37 共振部材

38 共振器領域

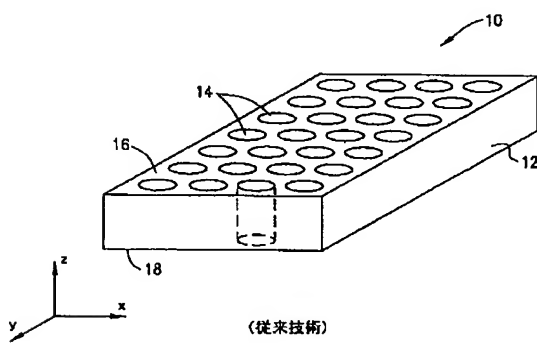
39 誘電体ポスト

44 干渉チャネル

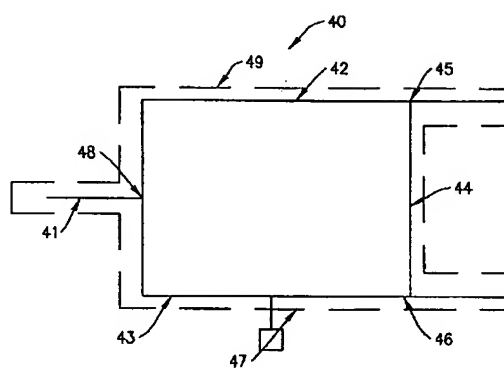
* 10

14

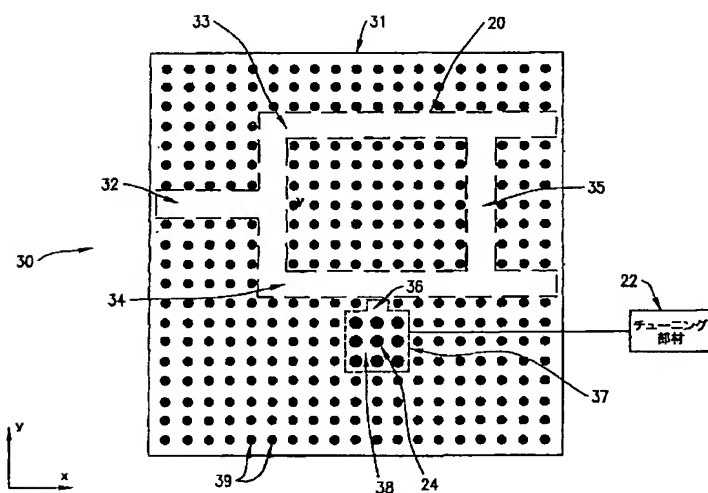
【図1】



【図3】



【図2】



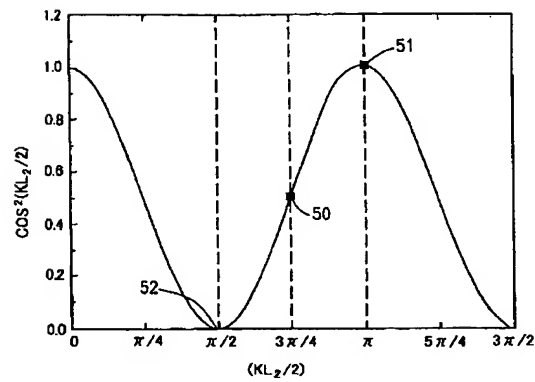
【図6a】



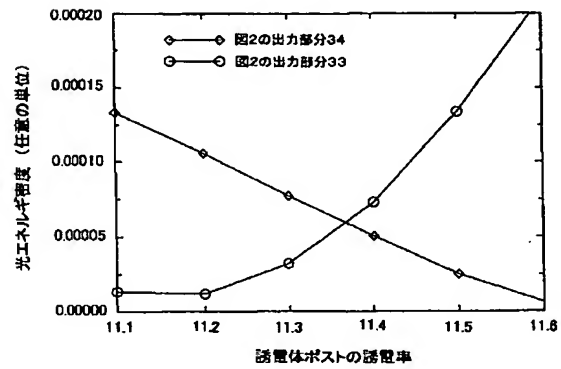
【図6b】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 カート・エイ・フロリィ
アメリカ合衆国カリフォルニア州94024,
ロスアルトス, ライムンド・アベニュー・
774

(72)発明者 ミハイル・エム・シガラス
アメリカ合衆国カリフォルニア州95051,
サンタクララ, サウス・ドライブ・2411
Fターム(参考) 2H047 KA03 LA12 NA01 RA08
2H079 AA02 AA12 BA03 CA05 DA03
EA03 EA05
2K002 AB04 CA01 DA08 EA15

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第6部門第2区分
 【発行日】平成17年10月27日(2005.10.27)

【公開番号】特開2003-161971(P2003-161971A)
 【公開日】平成15年6月6日(2003.6.6)
 【出願番号】特願2002-253198(P2002-253198)
 【国際特許分類第7版】

G 0 2 F 1/313
 G 0 2 B 6/12
 G 0 2 F 1/035
 G 0 2 F 1/365

【F I】

G 0 2 F 1/313
 G 0 2 F 1/035
 G 0 2 F 1/365
 G 0 2 B 6/12 Z
 G 0 2 B 6/12 N

【手続補正書】
 【提出日】平成17年8月26日(2005.8.26)
 【手続補正1】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】特許請求の範囲
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【特許請求の範囲】

【請求項1】

フォトリソニック結晶と、

少なくとも1つの入力部分、少なくとも2つの出力部分、及び光を透過することが可能であり、前記少なくとも2つの出力部分を接続する干渉チャネルからなり、前記フォトリソニック結晶のバンドギャップ内の光を透過することが可能な、前記フォトリソニック結晶内の導波路と、

前記少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方に接続された共振部材と、及び

前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方における光の特性を制御するために、前記共振部材の共振周波数を制御するように前記共振部材に接続されて、前記導波路内における光の干渉を制御するチューニング部材とからなる、フォトリソニック結晶干渉計装置。

【請求項2】

前記共振部材が、共振器領域、及び前記共振器領域と前記少なくとも2つの出力部分の少なくとも一方とを接続する接続チャネルを含む、請求項1に記載のフォトリソニック結晶干渉計装置。

【請求項3】

前記接続チャネルが、前記少なくとも2つの出力部分の前記少なくとも一方の側壁から垂直に延びている、請求項2に記載のフォトリソニック結晶干渉計装置。

【請求項4】

前記フォトリソニック結晶が周期的な格子からなり、前記導波路が前記周期的な格子に第1の欠陥領域を含み、前記接続チャネルが前記周期的な格子に少なくとも1つの第2の欠陥を含み、前記共振器領域が前記周期的な格子の修正部分からなる、請求項2に記載のフォトリソニック結晶干渉計装置。

【請求項 5】

前記周期的な格子がポストアレイを含み、前記第 1 の欠陥領域が、前記ポストアレイの複数ラインの一部においてポストを省略することによって生じ、前記少なくとも 1 つの第 2 の欠陥が、前記ポストアレイにおいて 1 つのポストを省略することによって生じ、前記共振器領域が前記ポストアレイのサブアレイからなり、そのサブアレイが、前記ポストアレイにおける他のポストとは異なる直径のポストからなる、請求項 4 に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

【請求項 6】

前記光の特性が光の位相を含み、前記共振器領域の設計パラメータによって、前記少なくとも 2 つの出力部分の前記少なくとも一方における光の位相が制御され、前記共振器領域の前記設計パラメータが、前記共振器領域におけるポストの数と、前記共振器領域における前記ポストの直径の少なくとも一方を含む、請求項 5 に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

【請求項 7】

前記共振部材が共振器領域を含み、前記共振器領域が誘電体ポストアレイを含み、前記チューニング部材が、前記共振器領域における前記誘電体ポストを構成する材料の誘電率を調整するための誘電率チューナを含む、請求項 1 に記載のフォトニック結晶干渉計装置。

【請求項 8】

前記誘電率チューナが、電子誘電率チューナ及び光学誘電率チューナからなるグループから選択された誘電率チューナからなる、請求項 7 に記載のフォトニック結晶干渉計装置。